

Digital data transmission system

Patent Number: DE19518858
Publication date: 1996-07-04
Inventor(s): ZSCHUNKE WILLMUT PROF DR ING (DE)
Applicant(s):: INTERESSENGEMEINSCHAFT FUER RU (DE)
Requested Patent: DE19518858
Application Number: DE19951018858 19950523
Priority Number(s): DE19951018858 19950523
IPC Classification: H04L27/00 ; H04L27/01 ; H04J11/00 ; H04H3/00 ; H04N7/00
EC Classification: H04H1/00D4, H04L27/26M5
Equivalents:

Abstract

The transmission system has the data to be transmitted within a data stream assigned to individual carrier frequencies, before amplification of specific amplification factors for each carrier frequency and modulation of the carriers with the amplified data. The carrier frequencies are summated and the combined signal is transmitted via a transmission end stage. The combined signal is detected at the reception end and divided into individual modulated carrier frequencies which are demodulated for reconstruction of the transmitted data, compared with the data to be transmitted for modification of the amplification factors.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ **Patentschrift**
⑯ **DE 195 18 858 C 1**

⑯ Int. Cl. 6:
H 04 L 27/00
H 04 L 27/01
H 04 J 11/00
H 04 H 3/00
H 04 N 7/00

⑯ Aktenzeichen: 195 18 858.6-31
⑯ Anmeldetag: 23. 5. 95
⑯ Offenlegungstag: —
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 4. 7. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Interessengemeinschaft für Rundfunkschutzrechte
GmbH Schutzrechtsverwertung & Co KG, 40210
Düsseldorf, DE

⑯ Vertreter:

Maryniok, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 96317 Kronach

⑯ Erfinder:

Zschunke, Willmut, Prof. Dr.-Ing., 64285 Darmstadt,
DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

WÄCHTER, Thomas: Das Übertragungsverfahren
des zukünftigen digitalen Hörrundfunks. In: Der
Fernmeldeingenieur 1992, Nr. 11/12, S. 1;
VISINTIN, Monica: An Adaptive DSP Predistortion
Technique for Radio Systems. In: Dipartimento di
Elettronica 1994, Nr. 4, S. 95;

⑯ Sende- und Empfangsverfahren für digitale Nutzdaten

⑯ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) ist
als Übertragungsverfahren sehr beliebt, z. B. beim Digital
Audio Broadcasting, weil es sehr robust gegen Echostörungen
ist. Es soll daher auch für die zukünftige terrestrische
digitale Fernsehübertragung verwendet werden.

Wenn das übertragene Signal Verzerrungen unterworfen ist,
führt die Rekonstruktion der übertragenen Nutzdaten zu
Fehlern. Um diese Fehler zu kompensieren, wird das übertra-
gene Signal entzerrt und so das Originalsignal rekonstruiert,
welches dann weiterverarbeitet wird.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Sendeverfahren und ein Empfangsverfahren für digitale Nutzdaten. Das Modulationsverfahren Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) verwendet sehr viele fre

5 quenzmäßig äquidistant liegende Träger, die jeweils digital moduliert werden. Dieses Verfahren wird beim Digital Audio Broadcasting (DAB), wie es z. B. von Wächter in "Der Fernmeldeingenieur", Band 46, Nov/Dez 1992 beschrieben ist, angewandt und soll auch für die zukünftige terrestrische digitale Fernsehübertragung (DTV) verwendet werden. Aufgrund der kleinen Bandbreite der einzelnen modulierten Kanäle ist dieses Verfahren sehr robust gegen Echostörungen. Ein Nachteil ist jedoch, daß die Addition der modulierten Einzelträger

10 zum OFDM-Gesamt signal sehr hohe Spitzenwerte ergibt. Deshalb muß entweder die Sendeendstufe hochlinear sein oder die Sendeendstufe darf nur im linearen Teil ausgesteuert werden, was natürlich einen Verlust an Ausgangsleistung bedeutet. Durch eine Vorverzerrung der Kennlinie der Sendeendstufe läßt sich zwar eine weitgehende Linearisierung erreichen, jedoch kann durch das OFDM-Signal die Endstufe in die Begrenzung kommen, so daß das OFDM-Signal abgeschnitten und damit empfangsseitig nicht mehr korrekt decodiert

15 werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit zu schaffen, OFDM-Signale ohne Übersteuerung der Sendeendstufe zu übertragen sowie eine Übersteuerung der Endstufe des Senders zu vermeiden.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß gemäß den Ansprüchen 1, 8 bzw. 22 das gesendete Signal empfangen bzw. detektiert wird, daß das Signal sodann auf einzelne modulierte Trägerfrequenzen aufgeteilt wird und die 20 Trägerfrequenzen dann demoduliert werden, um so den Trägerfrequenzen zugeordnete übertragene Nutzdaten zu rekonstruieren. Die rekonstruierten Nutzdaten werden dann mit den zu sendenden Nutzdaten verglichen. Aufgrund des Vergleichs werden trägerfrequenzspezifische Verstärkungsfaktoren derart variiert, daß die Differenz zwischen rekonstruierten und zu sendenden Nutzdaten minimal wird.

Um die Sendeendstufe in einem höheren Leistungsbereich aussteuern zu können, ist es von Vorteil, wenn das 25 Gesamt signal vor dem Zuführen zur Sendeendstufe vorverzerrt wird. Zusätzlich wird das Gesamt signal — vorzugsweise gemäß einer nichtlinearen Kompressionskennlinie — komprimiert werden.

Die Auswahl der Trägerfrequenzen und das Modulieren bzw. Demodulieren der Trägerfrequenzen kann beispielsweise gemäß dem Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Verfahren erfolgen. In diesem Fall ist beispielsweise eine Anwendung bei terrestrischer digitaler Fernsehübertragung möglich.

30 Vorteilhafte Weiterbildungen des Sendeverfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 7, des Empfangsverfahrens in den Ansprüchen 8 bis 10 und deren Kombination in den Ansprüchen 11 bis 21 sowie Ausgestaltungsformen der Schaltungsanordnung in den Ansprüchen 23 bis 28 angegeben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels und in Verbindung mit den weiteren Ansprüchen.

35 Dabei zeigen

Fig. 1 in schematischer Darstellung ein System zum Senden und Empfangen von Signalen nach der Erfindung,

Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Empfänger,

Fig. 3 eine Verstärkerschaltung,

Fig. 4 mögliche Expanderkennlinien und

40 Fig. 5 mögliche Kompressorkennlinien.

Das Übertragungssystem zur Realisierung des Verfahrens nach der Erfindung ist in Form eines Blockschaltbildes in Fig. 1 angegeben. Das Eingangssignal u_e wird mittels eines Kompressors komprimiert. Das Ausgangssignal u_2 wird als komprimiertes Signal über die nachgeschaltete Sendestufe (41) z. B. terrestrisch verteilt. Das Übertragungssystem selbst ist als dritter Block angegeben. Das empfangene Signal wird zunächst entzerrt und 45 das Ausgangssignal einer Expander unterworfen, wobei der Expander eine inverse Expanderkennlinie gegenüber der Kompressorkennlinie aufweist, so daß empfangsseitig die nichtlinearen Verzerrungen rückgängig gemacht werden. Die Schaltungsblöcke und ihre Funktionen werden im einzelnen nachfolgend anhand der weiteren Figuren beschrieben.

In der Figur ist das gesamte System dargestellt. Das OFDM-Signal durchläuft zunächst die Kompressorkenn-

50 linie, die im zweiten Block dargestellt ist, die dafür sorgt, daß das mittels des Kompressors — dargestellt im ersten Block — komprimierte, z. B. OFDM-Signal betragsmäßig unter dem Begrenzungswert 0 der Sendestufe liegt. Das sodann gegebene Übertragungssystem einschließlich Sender und z. B. terrestrischer Übertragung bewirkt dabei eine nichtlineare Verzerrung wenn unterstellt wird, daß die Übertragungsstrecke und der Sender nichtlinear sind. Diese nichtlinearen Verzerrungen werden durch die inverse Expanderkennlinie empfängerseitig

55 — im letzten Block angegeben — rückgängig gemacht. Die Kennlinien sind in den Fig. 4 und 5 dargestellt. Es ist zwar allgemein bekannt, Kompressionen und Expansionen (Kompaundierung) häufig einzusetzen, um das Signal-Geräuschverhältnis zu verbessern oder konstant zu halten. Bei der Erfindung wird die Kompaundierung jedoch dazu benutzt, eine Übersteuerung der Sendeendstufe zu vermeiden, um dadurch die Voraussetzung zu schaffen, daß das gesendete Signal auch dann exakt rekonstruiert werden kann, wenn das OFDM-Signal so große

60 Amplituden annimmt, daß die Sendeendstufe (ohne Kompression) übersteuert würde.

Durch die Übertragung des Signals über ein Übertragungssystem mit linearen Verzerrungen (Dämpfungs- und Phasenverzerrungen) ändert sich seine Kurvenform, so daß eine Rekonstruktion durch die Expanderkennlinie fehlerfrei nicht mehr möglich ist. Durch den angegebenen, dem Übertragungssystem nachgeschalteten Entzerrer wird das Signal so entzerrt, daß das komprimierte OFDM-Signal formgetreu wieder vorliegt. Es kann demzufolge dem als letzte Stufe eingezeichneten Expander zugeführt werden, der daraus ein Ausgangssignal formt, das gleich dem Eingangssignal u_e ist. Dazu wird zu Beginn der Übertragung und ggf. in gewissen Abständen wiederholt ein bekanntes Bitmuster (Testsignal) übertragen. Zur Vermeidung von Datenverlusten des Nutzsignals läßt sich der Entzerrer auch adaptiv, ähnlich wie bei der Datenübertragung, einstellen. Dies wird

später im einzelnen noch detaillierter ausgeführt. Mit dem Testsignal wird der Entzerrer eingestellt und in dieser Einstellung für die nachfolgenden Nutzsignale belassen, bis ggf. wieder eine Neueinstellung erfolgt.

Z.B. bei DAB und DTV wird eine digitale Modulation der Normal- und Quadraturkomponente der einzelnen Träger vorgenommen. Das komprimierte OFDM-Signal lautet:

$$U_{0k} = \sum_{\mu=1}^N (a_{\mu k} \cos \mu \omega_0 t - b_{\mu k} \sin \mu \omega_0 t)$$

Dabei sind $a_{\mu k}$ und $b_{\mu k}$ die komprimierten Werte der Datensignale. Durch das Übertragungssystem treten nun Verzerrungen auf. Das komprimierte, verzerrte OFDM-Signal lautet:

$$\tilde{U}_{0k} = \sum_{\mu=1}^N (\tilde{a}_{\mu k} \cos \mu \omega_0 t - \tilde{b}_{\mu k} \sin \mu \omega_0 t)$$

Fig. 2 zeigt eine Antenne 1 eines Empfängers, über die ein von einem – in Fig. 2 nicht dargestellten – Sender gesendetes Signal empfangen wird. Das komprimierte und verzerrte OFDM-Signal U_{0k} wird über die Verbindungsleitung 2 parallel an Multiplizierer 3 gelegt. In den Multiplizierern 3 wird das Signal mit den jeweils zugeordneten Trägerfrequenzen multipliziert und anschließend in den Tiefpässen 4 geglättet. An den Ausgängen der Tiefpässe 4 stehen daher die rekonstruierten Nutzdaten an.

Die rekonstruierten Nutzdaten werden in den Verstärkern 5 mit trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren verstärkt und sodann in den Multiplizierern 6 erneut mit den jeweiligen Trägerfrequenzen moduliert. Nach dem Summieren im Summierer 7 wird das so gebildete Gesamtsignal dem Expander 8 zugeführt. An keinem Ausgang liegt somit das unkomprimierte OFDM-Signal an. Sodann wird das expandierte Signal über die Verbindungsleitung 9 erneut parallel auf die einzelnen Trägerfrequenzen aufgeteilt an die Multiplizierer 10 gelegt und in diesen wieder mit den zugeordneten Trägerfrequenzen multipliziert und so demoduliert und anschließend in den Tiefpässen 11 tiefpaßgefiltert. Diese Signale werden dann dem Nutzdatenvereiniger 12 zugeführt, der daraus einen empfangenen Nutzdatenstrom rekonstruiert.

Diese Figur zeigt ferner, wie durch Synchron demodulation und anschließende Tiefpaßfilterung diese Koeffizienten des Testsignals demoduliert werden können. Die komprimierten aber unverzerrten Koeffizienten des Testsignals sind empfangsseitig bekannt, so daß durch Multiplikation der Koeffizienten $\tilde{a}_{\mu k}$ und $\tilde{b}_{\mu k}$ mit $a_{\mu k}/\tilde{a}_{\mu k}$ und $b_{\mu k}/\tilde{b}_{\mu k}$ die korrekten Koeffizienten ermittelt werden können. Dieser Multiplikationsfaktor bleibt für die nachfolgenden Nutzdaten solange erhalten, bis ggf. ein neues Testsignal übertragen wird. Durch Remodulation erhält man das komprimierte, aber unverzerrte OFDM-Signal, das dann dem Expander zugeführt wird. In Fig. 2 ist dies am Beispiel des μ -ten Kanals gezeigt.

Die Realisierung der Multiplikation kann sowohl digital über Signalprozessoren erfolgen als auch analog. Ein Beispiel einer analogen Multiplikation durch eine Proportionalregelung ist in Fig. 3 dargestellt. Die Verstärker weisen eine einstellbare Verstärkung auf. Der Grad der Verstärkung erfolgt gemäß dem Ausgangssignal des Sample-and-hold-Elements 13. Im Sample-and-hold-Element 13 wird das Ausgangssignal des Reglers 14 abgespeichert, der beispielsweise ein Proportional- oder ein Proportional-Integral-Regler sein kann. Als Eingangssignal wird dem Regler 14 die Differenz von dem auf dieser Frequenz zu sendenden Nutzdaten a_n^* und dem empfangenen, verstärkten Nutzdaten a_n zugeführt. Die Differenz dieser beiden Werte wird in der Summationsstelle 15 gebildet. Hierbei werden die verzerrten Koeffizienten mit der einstellbaren Verstärkung V multipliziert und mit den korrekten Koeffizienten verglichen. In dem eingezirkelten Regelkreis wird die Verstärkung so eingestellt, daß die Abweichung möglichst zu Null wird. Diese eingestellte Verstärkung wird wiederum für die nachfolgenden Nutzdaten festgehalten.

Das Anpassen der Verstärkung kann nur während der Übertragung der bekannten Festdaten erfolgen. Deshalb erfolgt das Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren nur von Zeit zu Zeit und die Verstärkungsfaktoren werden zwischen diesen Zeiten nicht geändert. So ist es beispielsweise möglich, periodisch zu den Zeiten, zu denen das Variieren der Verstärkungsfaktoren erfolgen soll, vorbekannte Testdaten als Nutzdaten zu senden. Die Werte dieser Nutzdaten sind dann im Empfänger bekannt. Dadurch kann ein exakter Vergleich zwischen Soll und Ist erfolgen und die trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren daher mit Sicherheit korrekt bestimmt werden, so daß danach die Differenz zwischen rekonstruierten und zu sendenden Nutzdaten minimal, möglichst gleich Null, wird.

Alternativ ist es auch möglich, daß laufend nur Nutzdaten, also nicht auch Testdaten, gesendet werden. In diesem Fall kann eine Optimierung der Verstärkungsfaktoren dadurch erfolgen, daß als angenommene gesendete Nutzdaten, im folgenden Nachbarschaftsdaten genannt, die Nutzdaten aus der Gesamtheit der möglichen Nutzdaten ausgewählt werden, die sich vor dem Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren am wenigsten von den verstärkten rekonstruierten Nutzdaten unterscheiden. Das empfangene, verstärkte Nutzdaten kann beispielsweise nur ganze Werte annehmen, also 5, 6, 7 usw. Wenn das empfangene, verstärkte Nutzdaten also beispielsweise einen Wert von 5,8 aufweist, kann angenommen werden, daß das tatsächlich gesendete Nutzdaten den Wert 6 (bzw. 6,0) hat. Selbstverständlich kann auf diese Art ein zu großer Fehler nicht korrigiert werden. Auftretende Fehlentscheidungen wirken sich jedoch durch die Mittelung kaum aus.

Die Änderung der Verstärkung wird im optimalen Fall als Quotient von gesendetem zu verstärktem, rekonstruiertem Nutzdaten bestimmt. Um im vorigen Zahlenbeispiel zu bleiben: Wenn der Wert 5,8 empfangen wird, aber nur die Werte 5 oder 6, also höchstwahrscheinlich 6, möglich sind, wird die Änderung der Verstärkung zu 6,0/5,8 berechnet.

5 Nimmt man an, daß die Schwankungen des Übertragungskanals mit einer Frequenz von 5 Hz (beispielsweise durch vorbeifahrende Autos) erfolgen, so müßte der Entzerrer im Abstand $T_s = 21/5 \text{ s} = 0,2 \text{ s}$ nachgestellt werden. Nimmt man eine OFDM-Übertragung mit 64-QAM, d. h. mit 6 bit pro Zeitintervall $T = 2\pi/\omega_0$ bei 1000 Trägern an, so ergibt sich eine Übertragungsgeschwindigkeit von 6 kbit/T. Für eine einfache Rechnung werde eine zu übertragende Datenrate von 3 Mbit/s angenommen. Daraus folgt $T = 2\text{ms}$. Der Datenverlust ist $T/T_s = 0,01$, also zur 1%.

10 Falls man keinen Datenverlust hinnehmen möchte, läßt sich, wie im folgenden gezeigt, der Entzerrer auch adaptiv ähnlich wie bei Datenübertragung einstellen. Im folgenden wird aus Gründen der einfacheren Schreibweise der Index k bei den Koeffizienten weggelassen. Für den Koeffizienten $a_{\mu i}$ ergibt sich ein Fehler

$$15 \quad e_{\mu i} = a_{\mu i} - V_{a_{\mu i}} \tilde{a}_{\mu i}$$

20 wobei $V_{a_{\mu i}}$ die einstellbare Verstärkung im μ -ten Zweig des Entzerrers ist und der Index i sich auf das i -te Zeitintervall bezieht. Das mittlere Fehlerquadrat lautet:

$$25 \quad Q_{a_{\mu i}} = - \sum_{i=1}^M e_{\mu i}^2$$

Durch Nullsetzen der Ableitung nach der gesuchten Verstärkung ergibt sich eine einfache Lösung:

$$30 \quad \frac{\partial Q_{a_{\mu i}}}{\partial V_{a_{\mu i}}} = - \sum_{i=1}^M e_{\mu i} \cdot \tilde{a}_{\mu i} = 0$$

$$35 \quad \begin{aligned} & \sum_{i=1}^M a_{\mu i} \cdot \tilde{a}_{\mu i} \\ 40 & \sim \rightarrow V_{a_{\mu i}} = \frac{\sum_{i=1}^M \tilde{a}_{\mu i}}{\sum_{i=1}^M a_{\mu i}} \end{aligned}$$

50 Für $M = 1$, also nur für ein Zeitintervall, ergibt sich die Verstärkung nach Fig. 2.

In der Datenübertragung ist es üblich, Verstellungen der Entzerrer proportional dem negativen Gradienten durchzuführen. Dies hat den Vorteil, daß die Realisierung einfacher ist und die Einstellung konvergiert, auch wenn einzelne der Sollwerte $a_{\mu i}$ falsch entschieden wurden. Die Sollwerte können die Testsignale sein; bei fehlendem Testsignal werden sie geschätzt, indem man den empfangenen Wert $a_{\mu i}$ auf den nächstgelegenen Sollwert quantisiert. Es ergibt sich damit für die Verstellung

$$60 \quad \Delta V_{a_{\mu i}} \sim - \frac{\partial Q_{a_{\mu i}}}{\partial V_{a_{\mu i}}}$$

$$65 \quad \Delta V_{a_{\mu i}} \sim e_{\mu i} \cdot a_{\mu i}$$

Es wird also über das Produkt von Fehler und Empfangssignal gemittelt und proportional dazu die Verstärkung nachgeführt.

Für die Koeffizienten $b_{\mu i}$ gelten die entsprechenden Überlegungen. In den Formeln muß $a_{\mu i}$ durch $b_{\mu i}$ ersetzt werden.

Wie im Zusammenhang mit Fig. 2 erläutert, wird das empfangene Gesamt signal im Expander 8 expandiert. Die Expansionskennlinie ist nichtlinear. Sie kann beispielsweise den Verlauf a gemäß Fig. 4 aufweisen. Anstelle des kontinuierlichen Verlaufs gemäß der Kennlinie a ist auch ein Polygonzug gemäß Kennlinie b möglich. Selbstverständlich muß, wenn das Gesamt signal im Empfänger expandiert wird, das Gesamt signal im Sender mit einer zur Expanderkennlinie korrespondierenden Kompressorkennlinie – vergleiche zum Beispiel die Darstellung gemäß Fig. 5 – komprimiert worden sein.

Alternativ und/oder zusätzlich zum Komprimieren des Gesamt signals im Sender nebst korrespondierendem Expandieren im Empfänger ist es möglich, das Gesamt signal im Sender vor dem Zuführen zur Sendeendstufe vorzuverzerrern und dadurch zu erreichen, daß das über die Sendeendstufe gesendete Signal proportional zum Gesamt signal ist. Nichtlinearitäten werden also in diesem Fall durch die Vorverzerrung kompensiert; jedoch läßt sich hiermit der Begrenzungseffekt nicht vermeiden.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß das Berechnen und Einstellen der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren nicht nur, wie beschrieben, analog, sondern auch digital über Signalprozessoren erfolgen kann. Die Trägerfrequenzen können beispielsweise gemäß dem allgemein bekannten Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Verfahren ausgewählt, moduliert und demoduliert werden. In diesem Fall liegen benachbarte Trägerfrequenzen selbstverständlich frequenzmäßig äquidistant.

Patentansprüche

1. Sendeverfahren für digitale Nutzdaten, mit folgenden Schritten:

- Zuordnen der zu sendenden Nutzdaten eines Nutzdatenstroms zu einzelnen Trägerfrequenzen,
- Verstärken der Nutzdaten mit trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren,
- Modulieren der Trägerfrequenzen gemäß den jeweils zugeordneten verstärkten Nutzdaten,
- Summieren der modulierten Trägerfrequenzen zu einem Gesamt signal,
- Senden des Gesamt signals über eine Sendeendstufe,
- Detektieren des gesendeten Signals,
- Aufteilen des detektierten Signals auf die einzelnen modulierten Trägerfrequenzen,
- Demodulieren der Trägerfrequenzen, um so die übertragenen Nutzdaten zu rekonstruieren,
- Vergleich der rekonstruierten Nutzdaten mit den zu sendenden Nutzdaten und
- Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren derart, daß die Differenz zwischen rekonstruierten Nutzdaten und zu sendenden Nutzdaten minimal wird.

2. Sendeverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das über die Sendeendstufe gesendete Signal proportional zum Gesamt signal ist.

3. Sendeverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kompensierung der Nichtlinearitäten der Sendeendstufe das Gesamt signal vor dem Zuführen zur Sendeendstufe vorverzerrt wird.

4. Sendeverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermeidung von Nichtlinearitäten der Sendeendstufe das Gesamt signal komprimiert wird.

5. Sendeverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Gesamt signal gemäß einer nichtlinearen Kompressionskennlinie komprimiert wird.

6. Sendeverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kompressionskennlinie abschnittsweise linear verläuft.

7. Sendeverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zu übertragende Nutz signal durch einen Kompressor derart in der Amplitude reduziert wird, daß der Sende verstärker nicht übersteuert wird.

8. Empfangsverfahren für nach dem Sendeverfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7 übertragene digitale Nutzdaten, mit folgenden Schritten:

- Empfangen eines gesendeten Signals,
- Demodulieren der einzelnen Trägerfrequenzen, um so den Trägerfrequenzen zugeordnete übertragenen Nutzdaten zu rekonstruieren,
- Verstärken der rekonstruierten Nutzdaten mit trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren,
- Vergleich der verstärkten rekonstruierten Nutzdaten mit zu sendenden Nutzdaten und
- Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren derart, daß die Differenz zwischen rekonstruierten und zu sendenden Nutzdaten minimal wird.

9. Empfangsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Trägerfrequenzen gemäß den ihnen jeweils zugeordneten verstärkten rekonstruierten Nutzdaten moduliert werden,
- daß die modulierten Trägerfrequenzen zu einem Gesamt signal summiert werden und
- daß das Gesamt signal gemäß einer nichtlinearen Expansionskennlinie expandiert wird.

10. Empfangsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Expansionskennlinie abschnittsweise linear verläuft.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die nichtlineare Kennlinie des Kompressors des Senders durch eine Expanders inverse Expanderkennlinie empfangsseitig kompensiert wird.

12. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Trägerfrequenzen

quenzen frequenzmäßig äquidistant liegen und gemäß dem Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Verfahren (OFDM) digital moduliert bzw. demoduliert werden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die gesendeten digitalen Signale codierte Signale nach dem Digital Audio Broadcasting (DAB)-Standard, Digital Video Broadcasting (DVB)-Standard und/oder dem terrestrischen digitalen Fernsehübertragungs-Standard (DTV) oder mittels anderer Vielträgerverfahren übertragene sind.

14. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren nur von Zeit zu Zeit erfolgt und daß die trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren zwischen diesen Zeiten nicht geändert werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur korrekten Bestimmung der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren zu den Zeiten, zu denen das Variieren der Verstärkungsfaktoren erfolgt, vorbekannte Testdaten als Nutzdaten gesendet bzw. empfangen werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß nur Nutzdaten gesendet bzw. empfangen werden und daß als gesendete Nutzdaten aus der Gesamtheit der möglichen Nutzdaten Nachbarschaftsdaten ausgewählt werden, die sich vor dem Variieren der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren am wenigsten von den verstärkten rekonstruierten Nutzdaten unterscheiden.

17. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderungen der trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren als Quotienten von zu sendenden bzw. gesendeten zu verstärkten rekonstruierten Nutzdaten bestimmt werden.

18. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Modulieren und/oder Demodulieren aller Trägerfrequenzen gleichzeitig erfolgt.

19. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärken mit den trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren digital über Signalprozessoren erfolgt.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Verstärken mit den trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren analog durch eine Proportional- bzw. eine Proportional-Integral-Regelung erfolgt.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kompensation von linearen Verzerrungen des Signals durch den Übertragungskanal empfangsseitig durch Demodulation, kanaleigene Multiplikationen und/oder anschließende Remodulation beseitigt werden.

22. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Sendeverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender mindestens enthält:

- einen Verstärker zum Verstärken der Nutzdaten mit trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren,
- einen Modulator zum Modulieren der Trägerfrequenzen gemäß den jeweils zugeordneten verstärkten Nutzdaten,
- einen Summierer zum Summieren der modulierten Trägerfrequenzen zu einem Gesamtsignal und eine Sendendstufe zum Senden des Gesamtsignals.

23. Schaltungsanordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender (41) eine Schaltungsanordnung enthält, die eine Übersteuerung der Sendestufe (41) vermeidet.

24. Schaltungsanordnung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungsanordnung einen Kompressor (40) umfaßt, der das komprimierte OFDM-Signal betragsmäßig unter dem Begrenzungswert der Sendestufe begrenzt.

25. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Empfangsverfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfängerschaltung einen Entzerrer (43) und einen Expander (44) mit einer zum Kompressor (40) inversen Expanderkennlinie aufweist.

26. Schaltungsanordnung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger enthält:

- einen Multiplizierer (3), der das Signal mit den jeweils zugeordneten Trägerfrequenzen multipliziert,
- Tiefpässe (4) und Verstärker (5) mit trägerfrequenzspezifischen Verstärkungsfaktoren.

27. Schaltungsanordnung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das rekonstruierte Nutzsignal in Multiplizierern (6) erneut mit der jeweiligen Trägerfrequenz moduliert ist, die mit einem Summierer (7) verbunden sind, daß dem Summierer (7) ein Expander (8) nachgeschaltet ist, daß das expandierte Signal erneut auf einzelne Trägerfrequenzen aufteilbar ist, die dem Multiplizierer (10) als Demodulatoren und Tiefpässe (11) nachgeschaltet sind, und daß ein Nutzdatenvereiniger (12) vorgesehen ist, von dessen Ausgang der Nutzdatenstrom abgreifbar ist.

28. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärker (5) eine Sample-and-hold-Schaltung (13) aufweist, in der die Ausgangsspannung eines Reglers (14) abgespeichert ist und daß mit dem Regler (14) eine Summationsstelle (15) verbunden ist, in der die Differenz zwischen dem zu sendenden Nutzdaten und dem empfangenen verstärkten Nutzdaten gebildet ist.

29. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Komprimierungsfaktors eine Schaltungsanordnung zur Unterbrechung der Nutzsignalübertragung und zur Einspeisung eines definierten Testsignals in regelmäßigen Abständen vorgesehen ist.

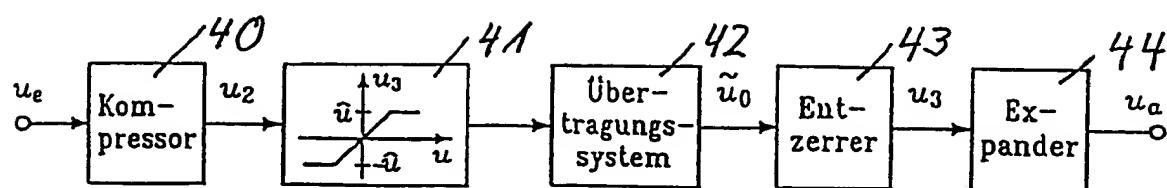


Fig. 1

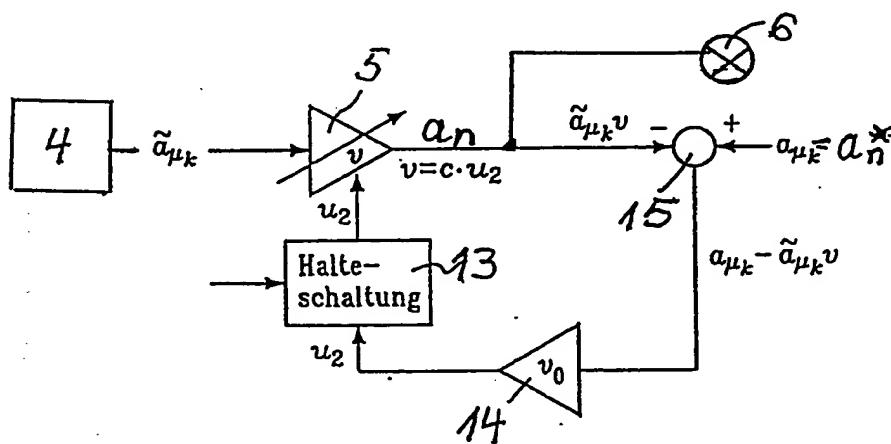


Fig. 3

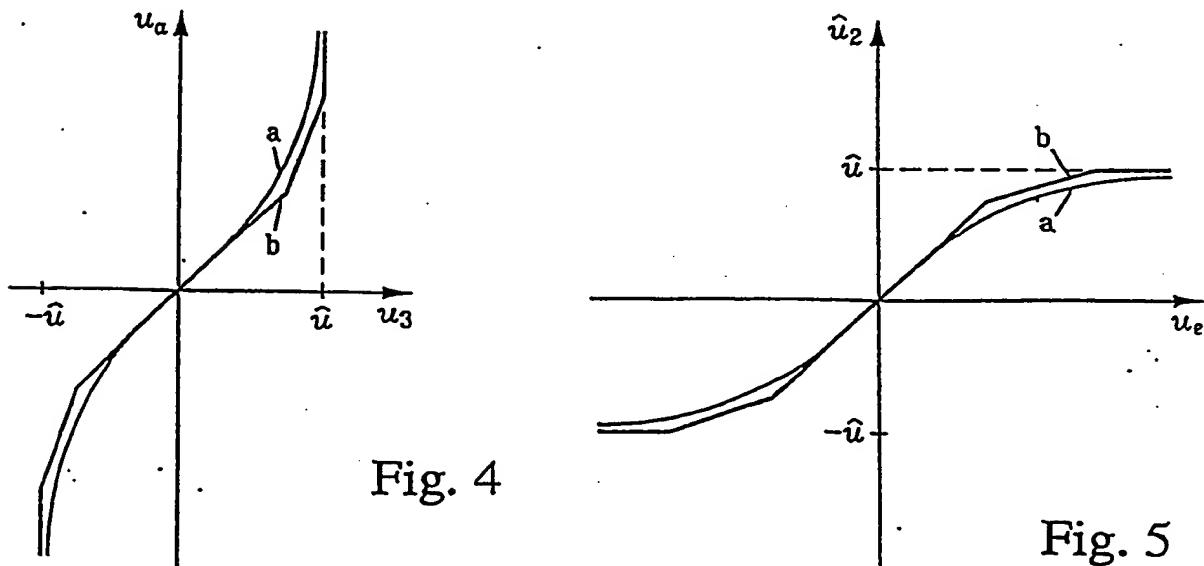


Fig. 4

Fig. 5

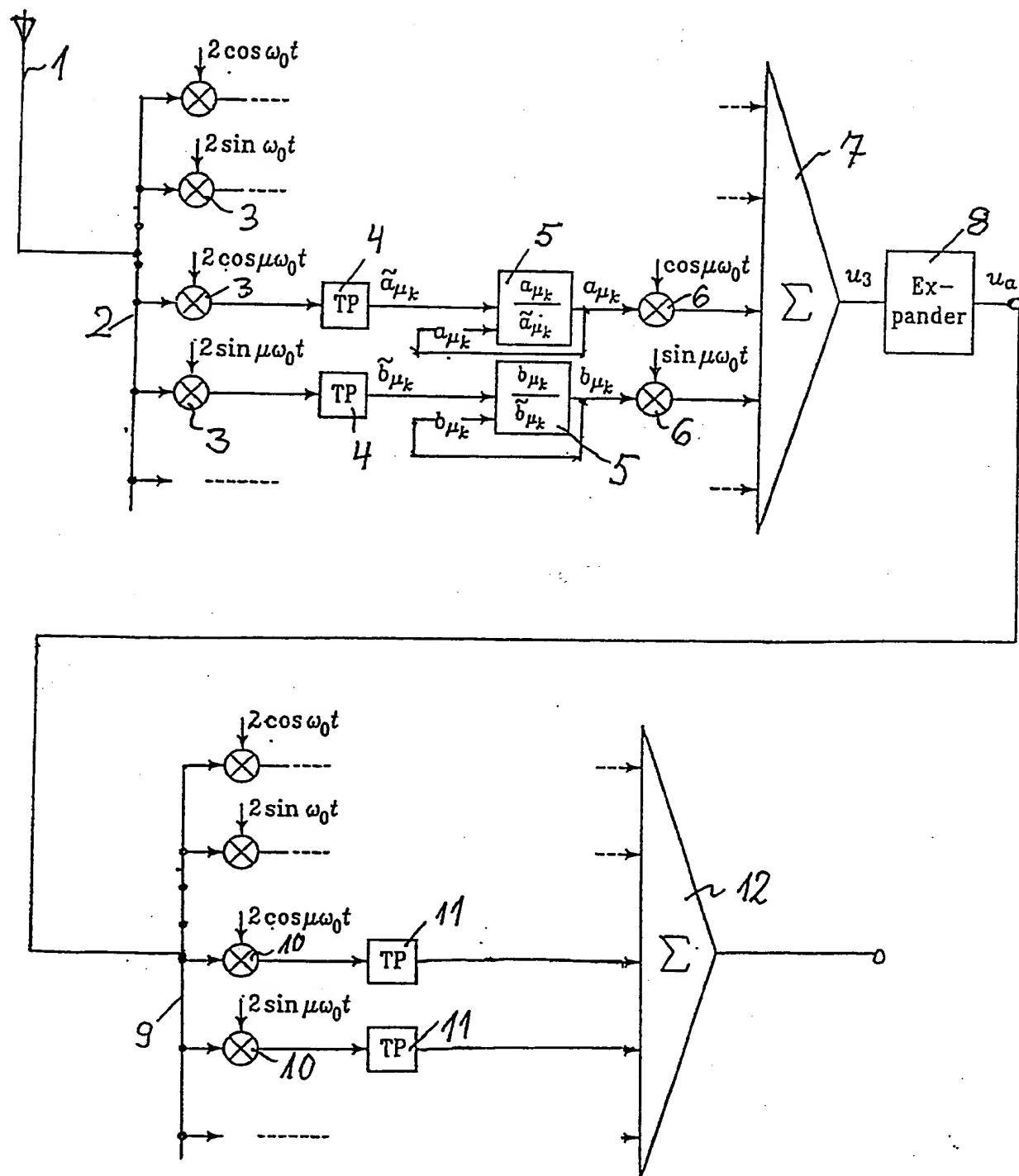


Fig. 2